



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08031635 A**(43) Date of publication of application: **02.02.96**

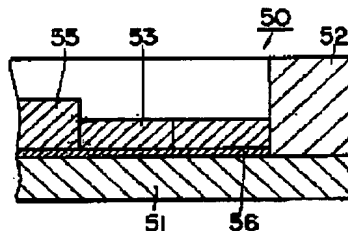
(51) Int. Cl.

**H01F 7/02**(21) Application number: **06180665**(22) Date of filing: **08.07.94**(71) Applicant: **SUMITOMO SPECIAL METALS  
CO LTD**(72) Inventor: **OTA KIMIHARU  
HASHIMOTO SHIGEO  
YUKI MASAHIRO  
SAKURAI HIDEYA****(54) MRI MAGNETIC FIELD GENERATING DEVICE****(57) Abstract:**

**PURPOSE:** To provide an MRI magnetic field generating device where magnetic poles so composed as to enable a clear picture image to be picked up high in sensitivity at a high speed are arranged by a method wherein an eddy current and a residual magnetism phenomenon generated in magnetic poles by an inclined magnetic field coil are reduced.

**CONSTITUTION:** Block-like soft ferrites 53 are laid on the upside of a pure iron disc-shaped magnetic material base 51 through the intermediary of a Bakelite thin plate disposed as a layer which is small in permeability and high in electric resistance. Even if an inclined magnetic field acts on the soft ferrite 53, a part or all of the soft ferrite 53 is not magnetically saturated, a magnetic flux leaking from the soft ferrite 53 to the magnetic base 51 is lessened, an eddy current and a residual magnetism phenomenon occur less, and a picture image can be picked up at a high speed by enabling an inclined magnetic field of a pulse sequence control FSE method or the like to act stably.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-31635

(43) 公開日 平成8年(1996)2月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 F 7/02

識別記号

D

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 3 F D (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平6-180665

(22) 出願日 平成6年(1994)7月8日

(71) 出願人 000183417

住友特殊金属株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番19号

(72) 発明者 太田 公春

大阪府三島郡島本町江川2丁目15-17 住

友特殊金属株式会社山崎製作所内

(72) 発明者 橋本 重生

大阪府三島郡島本町江川2丁目15-17 住

友特殊金属株式会社山崎製作所内

(72) 発明者 結城 正廣

大阪府三島郡島本町江川2丁目15-17 住

友特殊金属株式会社山崎製作所内

(74) 代理人 弁理士 押田 良久

最終頁に続く

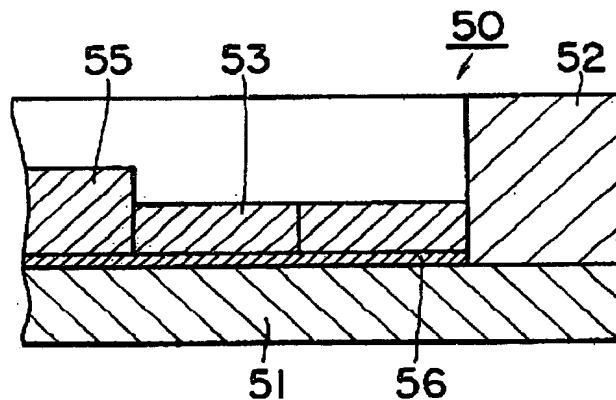
(54) 【発明の名称】 M R I 用磁界発生装置

(57) 【要約】

【目的】 傾斜磁界コイルによる磁極片内に発生する渦電流および残磁現象の低減を図ることにより、高感度で鮮明な画像を高速にて撮像可能とする構成の磁極片を配置するM R I 用磁界発生装置の提供。

【構成】 純鉄製の円板状磁性材ベース51の上面に、透磁率の小さくかつ電気抵抗の高い層として配置したベークライト製薄板57を介して、複数のブロック状ソフトフェライト53を敷設した構成。

【効果】 傾斜磁界が作用してもソフトフェライト内の一部あるいは全体に磁気的な飽和がなく、該ソフトフェライトから磁性材ベースへの磁束の漏洩が低減でき、渦電流および残磁現象の発生を低減し、パルスシーケンス制御するF S E法等の傾斜磁界を安定的に作用させて、高速撮像できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 空隙を形成して対向する一対の磁極片を有し、該空隙に磁界を発生させるMRI用磁界発生装置において、磁極片が空隙側からソフトフェライト、磁性材ベースを配置する積層構造からなるとともに、ソフトフェライトと磁性材ベースとの間に透磁率が小さく、かつ、電気抵抗の高い層を形成してなることを特徴とするMRI用磁界発生装置。

【請求項 2】 空隙を形成して対向する一対の磁極片を有し、該空隙に磁界を発生させるMRI用磁界発生装置において、磁極片が空隙側からソフトフェライト、積層けい素鋼板、磁性材ベースを配置する積層構造からなるとともに、ソフトフェライトと積層けい素鋼板との間に透磁率が小さく、かつ、電気抵抗の高い層を形成してなることを特徴とするMRI用磁界発生装置。

【請求項 3】 透磁率が小さく、かつ電気抵抗の高い層が合成樹脂層からなることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載のMRI用磁界発生装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、医療用磁気共鳴断層撮影装置（以下MRIという）等に用いられる磁界発生装置の改良に係り、空隙を形成して対向する一対の磁極片を、磁性材ベース上にソフトフェライトまたは積層けい素鋼板とソフトフェライトを配置する積層構造とするとともに、ソフトフェライトと磁性材ベースとの間、またはソフトフェライトと積層けい素鋼板との間に透磁率が小さくかつ電気抵抗の高い層を形成することによって、空隙内の磁界均一度を損なうことなく、傾斜磁界コイルによる磁極片内の渦電流、残磁現象の低減を図り、高速撮像を可能にしたMRI用磁界発生装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】MRIは、強力な磁界を形成する磁界発生装置の空隙内に、被検者の一部または全部を挿入して、対象物の断層イメージを得てその組織の性質まで描き出すことができる装置である。上記MRI用の磁界発生装置において、空隙は被検者の一部または全部が挿入できるだけの広さが必要であり、かつ鮮明な断層イメージを得るために、通常、空隙内の撮像視野内には、0.02～2.0Tでかつ $1 \times 10^{-4}$ 以下の精度を有する安定した強力な均一磁界を形成することが要求される。

【0003】MRIに用いる磁界発生装置として、図6(A)、(B)に示す如く、磁界発生源としてR-F e-B系磁石を用いた一対の永久磁石構成体1、1の各々の一方端に磁極片2、2を固着して対向させ、他方端を継鉄3にて連結し、磁極片2、2間の空隙4内に、静磁界を発生させる構成が知られている（特公平2-23010号公報）。磁極片2、2には、空隙4内における磁界分布の均一度を向上させるために、周辺部に環状突起5を設けたり、さらに中央部に凸状突起（図示せず）を

設けた構成（実公平5-37446号）等が採用され、通常、電磁軟鉄、純鉄等の磁性材料を削り出した板状のバルク（一体物）から構成される。

【0004】また、磁界発生源として、上記の永久磁石構成体1、1に換えて、鉄心の周囲に電磁コイル（常伝導コイル、超伝導コイル等を含む）を巻回配置した構成（図示せず）のものも知られており（特開平4-288137号公報）、これらの構成においても図6と同様な磁極片を採用している。

10 【0005】他の構成からなる磁界発生装置として、図7に示す如く、多角形からなる筒状継鉄10（図においては六角形）の内周面に、磁界発生源としてR-F e-B系磁石を用いた断面矩形状の永久磁石構成体11、11と断面略三角形状の永久磁石構成体12、12、12、12を配置し、特に、主要磁界を形成する一対の断面矩形状の永久磁石構成体11、11の空隙対向面に磁極片13、13を固着し、該磁極片13、13間の空隙14内に、静磁界を発生させる構成が提案されている（特願平4-316535号）。一対の磁極片13、13には、空隙14内における磁界分布の均一度を向上させるために、軸方向両端部に矩形パー状の突起15、15および中央部に矩形板状の突起16を設けてあり、通常、電磁軟鉄、純鉄等の磁性材料を削り出した板状のバルク（一体物）から構成される。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】MRIでは、空隙内の位置情報を得るために、通常X、Y、Zの3方向に対応する3組のコイル群からなる傾斜磁界コイル（GC）が各磁極片の近傍に配置され（図6において6が傾斜磁界コイルを簡略して示すものである）、この傾斜磁界コイルにパルス電流を印加することによって、空隙内に所望方向の傾斜磁界を発生することができる。つまり、空隙内に形成されている均一な磁界に傾斜磁界を加えることによって核磁気共鳴の信号に位置情報を与えるものであり、一つの画像を得るためには多数のパルス状傾斜磁界を加えることが必要となる。

【0007】例えば、傾斜磁界コイルにより発生する磁界の理想的な波形を概念的に示すと、図8(A)のように所定の磁界強度に達するまでの時間（立上り、立下がり時間）が極めて短い矩形波形状を有し、しかもプラス（+）側とマイナス（-）側の波高値が等しい（ $B_1 = B_2$ ）対称形となる。また、隣合う矩形波間においては磁界強度が0となる。

【0008】しかし、傾斜磁界コイルの近傍に磁極片が配置されていることから、傾斜磁界コイルにパルス電流を流すと、前述した電磁軟鉄、純鉄等のバルク材から構成される磁極片内においては、パルス電流の立上り、立下がり時に磁界が急激に変化し渦電流が発生することとなる。また、傾斜磁界コイルによる磁界によって磁極片が磁化され、該磁極片の磁気ヒステリシス現象（残磁現

象)による空隙内の磁界均一度の乱れを招くこととなる。

【0009】このような渦電流や残磁現象の発生は、傾斜磁界コイルにより発生する磁界の波形を大きく乱すこととなる。すなわち、図8(B)に示すように、所定の磁界強度に達するまでに多くの時間(立上り、立下がり時間)を要するとともに、プラス(+)側とマイナス(−)側の波高値が異なり( $B_1 \neq B_2$ )非対称の波形となる。なお、図中の破線は、図8(A)に示す理想的な波形に相当するものである。また、隣合う矩形波間において、該矩形波が理想的な波形となっていないため、磁界強度が0とはならない。

【0010】近年、MRIには一層鮮明な画像を高速で撮像することが要求されていることから、例えば、FSE法(ファーストスピンエコー法)等の傾斜磁界を高速で切り換えるパルスシーケンスを利用する構成が多用される傾向にある。しかし、傾斜磁界コイルにより発生する磁界の波形が上記の渦電流や残磁現象の影響により図8(B)に示すような非対称の波形を示す場合には、信号エラーの発生等により目的とする画像が得られないこととなる。

【0011】出願人は、上述の問題を解決する手段として、傾斜磁界コイルの近傍に位置する磁極片を改良した種々の構成からなるMRI用磁界発生装置を提案した。例えば、図9に示す磁極片20は図6に示す構成からなるMRI用磁界発生装置に採用するもので、円板状の純鉄製磁性材ベース21の空隙対向面側の周辺部に断面矩形状の純鉄製リング部22を配置し、また中央部に多数のブロック状ソフトフェライト23を敷設した、所謂積層構造からなる磁極片である(特開平4-23411号公報)。なお、図中24は純鉄製のコア部であり傾斜磁界コイルを装着するための基台となる。

【0012】また、上記の図9に示すブロック状ソフトフェライト23に換えて、図10および図11に示す如き複数枚のけい素鋼板を空隙対向方向に積層して一体化したブロック状積層けい素鋼板26を敷設した構成からなる磁極片を提案した(特開平4-138131号公報)。なお、図10のブロック状積層けい素鋼板26は、方向性けい素鋼板を用いた場合を示すもので、予め同一方向に方向性を示す複数枚の方向性けい素鋼板を、その厚さ方向に積層一体化した小ブロック26a、26b(図中矢印は磁化容易軸方向を示す)を作成し、その後、磁界均一度を向上させるため、各々の磁化容易軸方向が互いに直交するようにして積層して一体化したものである。また、図11のブロック状積層けい素鋼板26は、無方向性けい素鋼板を用いた場合を示すもので、図10の構成のように方向性を考慮することなく単にその厚さ方向に積層して一体化したものである。

【0013】出願人は、さらに上記のブロック状積層けい素鋼板とブロック状ソフトフェライトを効果的に積層

配置した構成として図12に示す磁極片30を提案した(特開平5-182821号公報)。すなわち、円板状の純鉄製磁性材ベース31の空隙対向面側の周辺部に断面矩形状の純鉄製リング部32を配置し、また中央部にブロック状積層けい素鋼板36とブロック状ソフトフェライト33を該積層けい素鋼板36が磁性材ベース31に当接するようにして積層配置した構造からなる磁極片である。

【0014】図13に示す磁極片40は図7に示す構成からなるMRI用磁界発生装置に採用するもので、矩形板状の純鉄製磁性材ベース41の空隙対向面側の軸方向両端部に純鉄製の矩形パー状の突起42を配置し、中央部にブロック状ソフトフェライト43を敷設した構成からなっている(特願平4-316535号公報)。この構成においても、中央部のブロック状ソフトフェライト43に換えて、ブロック状積層けい素鋼板またはブロック状積層けい素鋼板とブロック状ソフトフェライトを積層配置した構成が採用できる。

【0015】以上に示すような、ソフトフェライトやけい素鋼板を効果的に配置した磁極片を用いることにより、渦電流および残磁現象を低減することが可能となったが、先にも説明したようなFSE法(ファーストスピンエコー法)等を採用するMRIにおいては、一層の改良が望まれている。すなわち、画像の鮮明度の向上、撮像時間の短縮化への要求は強まる一方であり、それに伴い傾斜磁界コイルに印加するパルス電流も増加し、該パルス電流に基づき発生する磁界の強度も一層増加する傾向にある。

【0016】ソフトフェライトは、電気抵抗が高いため渦電流の発生を低減するには有効であるが、飽和磁束密度( $B_s$ )が低いことから、磁界発生源による磁界と傾斜磁界コイルによる磁界の相乗作用によって磁気飽和を招き易い。このため、ソフトフェライトを空隙対向面側に配置した磁極片であっても傾斜磁界コイルによる磁界強度が増加するとソフトフェライト内の磁束密度が増加し、部分的にあるいは全体的に磁気飽和を招き、該ソフトフェライトの磁気飽和部に接する磁性材ベースまたは積層けい素鋼板に磁束の一部が漏洩することとなる。したがって、この漏洩磁束により、磁性材ベースまたは積層けい素鋼板に渦電流および残磁現象が発生することとなる。

【0017】磁性材ベースまたは積層けい素鋼板への傾斜磁界コイルによる磁界の影響を低減するために、ソフトフェライトを厚くすることも考えられるが、ソフトフェライト部分の価格上昇を招くことから経済的でなく、また、ソフトフェライトの厚さが増すことによって必然的に磁極片全体の厚さが増加し、磁極片外周面からの漏洩磁束が増加することになり、結果として装置の大型化を招くこととなる。

【0018】積層けい素鋼板は、ソフトフェライトに比

飽和磁束密度 (Bs) が高く、渦電流の発生を低減するとともに空隙内の磁界均一度の向上を達成しやすい長所を有するが、保磁力がソフトフェライトに比べ若干大きいため残磁現象の発生を完全に防止することは困難であり、数mGaussオーダーの残留磁気が生じ、特に積層けい素鋼板を空隙対向面側に配置した磁極片にあっては、若干ではあるものの空隙内の磁界均一度を乱すこととなる。

【0019】この発明は、MRI用磁界発生装置の磁極片における上記現状に鑑み提案するもので、MRIの用途にとって不可欠である高速撮像に必要なFSE法等の傾斜磁界を当該磁気回路の空隙内に安定的に発生、消去することを実現するため、空隙内の磁界均一度を低下させることなく、傾斜磁界コイルによる磁極片内に発生する渦電流および残磁現象の低減を図ることにより、高感度で鮮明な画像を高速にて撮像可能とする構成の磁極片を配置するMRI用磁界発生装置の提供を目的としている。

#### 【0020】

【課題を解決するための手段】この発明は、MRI用磁界発生装置において、上記目的を達成するために種々検討した結果、空隙を形成して対向する一対の磁極片を、磁性材ベース上にソフトフェライトまたは積層けい素鋼板とソフトフェライトを配置する積層構造とするとともに、ソフトフェライトと磁性材ベースとの間、またはソフトフェライトと積層けい素鋼板との間に透磁率が小さく、かつ、電気抵抗の高い層を形成することによって、磁界強度および磁界均一度を低下させることなく、傾斜磁界コイルによる渦電流、並びに残磁現象を低減でき高速撮像が可能であることを知見し、発明を完成したものである。

【0021】換言すれば、発明者らは、高速撮像に必要なFSE法等の傾斜磁界をMRI用磁界発生装置の磁気回路の空隙内に安定的に発生、消去することを実現するため、種々検討し、磁性材ベース上にソフトフェライトを配置した積層構造の磁極片において、当該磁気回路を等磁束密度線図にて検証したところ、部分的に磁気飽和に近い箇所が存在することに着目し、この状態で傾斜磁界を与えるとソフトフェライト内を通過するパルス磁束が該磁気飽和箇所を通過できず、磁性材ベース側へ迂回するごとく漏洩して同部に渦電流、残磁現象が発生するものと推測し、かかる機構を解消し得る手段を種々検討した結果、磁性材ベースとソフトフェライトとの間に合成樹脂層等を設けると、傾斜磁界を与えても渦電流、残磁現象がほとんど発生しないことを知見したもので、通常、磁気回路の設計では回避するのが常套である磁気的なギャップであるにもかかわらず、当該磁気飽和箇所が解消されてパルス磁束が円滑に磁気回路内を通過するものと考えられ、磁性材ベース上に積層けい素鋼板とソフトフェライトを配置する磁極片の構成でも、積層けい素

鋼板とソフトフェライトとの間に該合成樹脂層を設けると同様の効果が得られることを知見し、この発明を完成したものである。

【0022】すなわち、この発明は、空隙を形成して対向する一対の磁極片を有し、該空隙に磁界を発生させるMRI用磁界発生装置において、磁極片が空隙側からソフトフェライト、磁性材ベースを配置する積層構造からなるとともに、ソフトフェライトと磁性材ベースとの間に透磁率が小さく、かつ、電気抵抗の高い層を形成してなることを特徴とするMRI用磁界発生装置である。

【0023】また、この発明は、空隙を形成して対向する一対の磁極片を有し、該空隙に磁界を発生させるMRI用磁界発生装置において、磁極片が空隙側からソフトフェライト、積層けい素鋼板、磁性材ベースを配置する積層構造からなるとともに、ソフトフェライトと積層けい素鋼板との間に透磁率が小さく、かつ、電気抵抗の高い層を形成してなることを特徴とするMRI用磁界発生装置である。

【0024】この発明は、上述の各構成において、透磁率が小さくかつ電気抵抗の高い層として合成樹脂層が好適であることを併せて提案する。

【0025】さらに、この発明は、上記構成において、磁性材ベースが円板状の場合、磁極片の空隙対向面側に直径方向のスリットを一箇所以上設けた磁性材リングからなる環状突起を配置することにより、さらに磁界均一度が向上する。

【0026】同様に、この発明は、上記構成において、磁性材ベースが矩形板状の場合、磁極片の空隙対向面側軸方向両端部に磁性材からなる矩形バー状の突起を配置することにより、さらに磁界均一度が向上する。

【0027】この発明の対象とするMRI用磁界発生装置は、空隙を形成して対向する一対の磁極片を有して該空隙に磁界を発生させる構成であれば、後述する実施例に限定されることなく、いかなる構成にも適用できる。すなわち、磁界発生源となる磁石構成体も永久磁石に限定されることなく鉄心に電磁コイル(常伝導コイル、超伝導コイル等を含む)を巻回配置した構成の採用も可能であり、また磁石構成体に直接磁極片が配置される構成でなくともよい。さらに、これらの磁石構成体と一対の磁極片とを磁氣的に接続して空隙に磁界を発生する磁路形成用の継鉄の形状寸法等も要求される空隙の大きさ、磁界強度、磁界均一度等種々の諸特性に応じて適宜選定すれば良い。

【0028】磁界発生源となる磁石構成体として永久磁石を使用する場合には、フェライト磁石、希土類コバルト系磁石等の公知の磁石材料が使用できるが、特に、RとしてNdやPrを中心とする資源的に豊富な軽希土類を用い、B、Feを主成分として30MGoe以上の極めて高いエネルギー積を示す、Fe-B-R系永久磁石を使用することにより、著しく小型化することができ

る。また、これらの公知の永久磁石を組み合わせる配置することにより、装置の小型化を著しく阻害することなく、経済的に優れた磁界発生装置を提供することができる。

【0029】この発明において、磁極片を構成する磁性材ベースは、電磁軟鉄、純鉄などの従来から磁極片として公知の材料を使用することができる。磁性材ベースは、磁界強度の均等化とともに磁極片全体の機械的強度を確保し、磁界発生装置の組立て作業性を良好とする。

【0030】この発明において、磁極片を構成するソフトフェライトは、 $Mn-Zn$ フェライト、 $Ni-Zn$ フェライト等の種々のソフトフェライトを用いることができるが、渦電流の低減を達成するためには電気抵抗が高いことが望ましく、例えば、比抵抗 $\rho$ が $10^{-5}\Omega\cdot m$ 以上、さらに好ましくは $10^{-3}\Omega\cdot m$ 以上の材質を選定することが望ましい。また、残磁現象を防止しするためには保磁力が小さいことが望ましく、例えば、保磁力 $H_c$ が $20A/m$ 以下、さらに好ましくは $10A/m$ 以下の材質を選定することが望ましい。さらに、磁石構成体による磁界および傾斜磁界コイルによる磁界の相乗作用による磁氣的な飽和現象を低減するためには高い飽和磁束密度 $B_s$ を有することが望ましく、例えば、飽和磁束密度 $B_s$ が $0.4T$ 以上、さらに好ましくは $0.5T$ 以上の材質を選定することが望ましい。以上のような種々の条件を最も満足するソフトフェライトとしては、 $Mn-Zn$ 系ソフトフェライトが最も望ましい。

【0031】上記の材質からなるソフトフェライトを磁極片に配置する際は、公知の圧縮成形法によって得られるブロックを所要形状に加工したもの、あるいは特定寸法の小ブロックに加工したものをエポキシ樹脂などの接着剤で所要形状に組立てたもの等を利用することで、所定位置に、作業性良く容易に敷設することができる。

【0032】この発明において、積層けい素鋼板は、その積層方向が実施例の方向に限定されるものではないが、該磁極片の対向方向（空隙対向方向）に積層する構成がブロック状の積層けい素鋼板を組立する際にも容易であり、機械的強度等の観点からも望ましい。また、方向性けい素鋼板を使用する場合は図10にて説明したような積層構成が望ましく、無方向性けい素鋼板（JISC2552等）を用いる場合は図11にて説明したような積層構成が望ましい。特に無方向性けい素鋼板にて構成した場合、残磁現象低減に顕著な効果を示す。

【0033】けい素鋼板の厚みは任意の厚みでよいが、一般に入手し易いけい素鋼板は $0.35mm$ 程度と薄いため取扱が煩雑となることから、予め所定寸法からなる矩形状等に切断した複数枚のけい素鋼板を所定方向に積層一体化してブロック状とすることによって、磁極片の所定位置に作業性良く敷設することができる。

【0034】上記の積層けい素鋼板をソフトフェライトと併用することによって、この発明の目的を効率的に達

成することができる。すなわち、発明者の実験によれば、ソフトフェライトは積層けい素鋼板に比べ渦電流の発生を低減する効果は優れているが、前述の磁界波形の対称性の点で問題があり、また、積層けい素鋼板はソフトフェライトに比べ磁界波形の対称性を良好にするものの残磁現象の点で問題がある（図8（B）参照）ことが確認された。したがって、これらソフトフェライトと積層けい素鋼板の積層量（寸法）を最適化することにより、これらが有する長所を有効に活用することができる。特に、積層けい素鋼板はソフトフェライトに比べ安価であることから経済的メリットも大きい。

【0035】この発明の主たる特徴である、透磁率が小さくかつ電気抵抗の高い層は、ソフトフェライトと磁性材ベースを積層配置する構成からなる磁極片の場合には、ソフトフェライトと磁性材ベースとの間に形成することが必要であり、また、ソフトフェライト、積層けい素鋼板、磁性材ベースを積層配置する構成からなる磁極片の場合には、ソフトフェライトと積層けい素鋼板との間に形成することが必要である。すなわち、この透磁率が小さくかつ電気抵抗の高い層を形成することによって、永久磁石構成体等の磁界発生源からの磁界によるソフトフェライト内の磁氣的な飽和を防止するとともに、さらに、傾斜磁界コイルによる磁界が作用してもソフトフェライト内の一部あるいは全体に磁氣的な飽和を招くことなく、該ソフトフェライトから磁性材ベースまたは積層けい素鋼板への磁束の漏洩が低減でき、結果として傾斜磁界コイルによる磁界を要因とする磁性材ベースまたは積層けい素鋼板の渦電流および残磁現象の発生を低減することが可能となる。

【0036】以上のことから明らかなように、ソフトフェライトと磁性材ベースとの間に形成する層およびソフトフェライトと積層けい素鋼板との間に形成する層によって、ソフトフェライトを磁界発生源からの磁界によって磁氣的な飽和を招かないようにするためには、該層の透磁率が小さいこと、すなわち磁氣的な抵抗が高いことが必要であり、種々の非磁性材の使用が考えられるが、銅、アルミニウム等の電気抵抗の低い（導電率の高い）材料の場合は、この層自体が渦電流を発生する要因となってしまうことから、透磁率が小さく、かつ、電気抵抗の高い物を選定する必要がある。

【0037】発明者の実験によれば、透磁率は通常、工業的に入手可能な1近傍の材料が望ましく、また、電気抵抗についても比抵抗 $\rho$ が磁極片を構成する前記ソフトフェライトの比抵抗と同等以上であることが望ましく、塩化ビニル、ポリエチレン、エポキシ樹脂、フェノール樹脂（ベークライト等）の合成樹脂板を使用することが取扱等の観点からも望ましい。また、例えば、各々のブロック状ソフトフェライトの磁性材ベース側または積層けい素鋼板側に合成樹脂製の小突起を配置し、ソフトフェライトと磁性材ベースまたは積層けい素鋼板との間に

実質的な空気層を形成した構成でも同様な効果を得ることができる。その他、アルミナ、窒化珪素等のセラミックス、合板等の硬質木材、MDFなどのファイバーボードなどの使用が可能である。

【0038】上記の透磁率が小さくかつ電気抵抗の高い層は本発明の目的を達成するために必須のものであるが、その厚さを必要以上に厚くすると磁気的な抵抗が大きくなりすぎて、磁界発生源の起磁力損失の増大を招き、結果として空隙内の磁界強度を低下させることとなる。すなわち、磁気的に効率が悪い磁気回路となる。また、必要以上に薄くするとこの層を設けた効果を得ることができないことから、磁極片を構成する各々部材の形状、寸法、材質、磁界発生源の磁気特性、傾斜磁界コイルの特性、空隙内の磁界強度等を考慮して選定することが望ましい。例えば、従来から使用されている外径が1m〜1.5m程度の略円板状磁極片、または幅0.4m〜1m×長さ1m〜1.5m程度の矩形板状磁極片のいずれの場合も0.5mm〜5mmの範囲内で設定することが望ましい。

【0039】この発明においては、上記の透磁率が小さくかつ電気抵抗の高い層の厚さとともに、磁極片を構成する各々部材の厚み比を最適化することにより、磁極片の機械的強度を確保し、磁極片に要求される磁界強度の均等化と渦電流および残磁現象の防止効果が最大限に発揮される。例えば、ソフトフェライト、透磁率が小さくかつ電気抵抗の高い層および磁性材ベースを有する構成においては、それぞれの厚み比（各部材の最大厚さの比）を5〜50、0.5〜5、10〜50の範囲で選定するのが望ましく（各部材の最大厚さの比）、また、ソフトフェライト、透磁率が小さくかつ電気抵抗の高い層、積層けい素鋼板および磁性材ベースを有する構成においては、それぞれの厚み比を3〜15、0.5〜5、2〜35、10〜50の範囲で選定するのが望ましい。

【0040】さらに、この発明においては、空隙内の磁界均一度を向上させるために、円板状磁性材ベースまたは矩形板状磁性材ベースの空隙対向面中央部のみをソフトフェライトまたは積層けい素鋼板とソフトフェライトの積層構造とし、それぞれ円板状磁性材ベースの周縁部や矩形板状磁性材ベースの軸方向両端部に電磁軟鉄、純鉄等の磁性材リング、磁性材バーからなる突起を形成することが望ましい。これらの磁性材リングや磁性材バーは、渦電流の影響を軽減する目的で磁性材ベースとの間を電気的に絶縁することが望ましい。特に、磁性材リングについては、周方向に1つ以上のスリットを設けて分割することが望ましい。

【0041】図面に基づく開示図1(A)、(B)はこの発明による磁界発生装置の磁極片の一実施例を示す上面図と縦断面図である。図2は図1の一部を拡大した部分縦断面図である。図3はこの発明による磁界発生装置の磁極片の他の一実施例を示す部分縦断面図である。図

1および図2に示す磁極片50は、純鉄製の円板状磁性材ベース51の上面に、透磁率の小さくかつ電気抵抗の高い層として配置したベークライト製薄板57を介して、複数のブロック状ソフトフェライト53を敷設した構成からなるもので、通常ブロック状ソフトフェライト53はベークライト製薄板57上に合成エポキシ樹脂接着材にて固着される。図中52は純鉄製の環状リングであり、また、54は軟鉄製のコア部であり傾斜磁界コイル配置用の基台を構成する。なお、磁極片50の中央部にはブロック状ソフトフェライト53の厚さを調整することによって形成した凸状突起55を設け、前記の環状リング52との相乗効果によって一層空隙内の磁界均一度を向上することができる。

【0042】図3に示す磁極片60は、純鉄製の円板状磁性材ベース61の上面に、無方向性けい素鋼板を用いて積層した複数のブロック状積層けい素鋼板66（図11参照）を敷設配置した後、さらにベークライト製薄板67からなる透磁率の小さくかつ電気抵抗の高い層を介して、複数のブロック状ソフトフェライト63を敷設した構成からなるものである。これらのブロック状積層けい素鋼板66およびブロック状ソフトフェライト63の固着に際しても、通常上記の構成と同様に合成エポキシ樹脂接着材が使用される。図中62は純鉄製の環状リングであり、65はブロック状積層けい素鋼板66およびブロック状ソフトフェライト63の厚さ調整することによって形成した凸状突起である。

【0043】図13に示す矩形板状磁性材ベース41を使用する磁極片においても、上記と同様にブロック状ソフトフェライト43と磁性材ベース41との間、またはブロック状ソフトフェライトと積層けい素鋼板との間（図示せず）にベークライト製薄板からなる透磁率の小さくかつ電気抵抗の高い層を介在させることによって、円板状磁性材ベースを使用した構成の磁極片と同様な作用効果を得ることができる。

#### 【0044】

【作用】この発明による上記構成からなる磁極片をMRI用磁界発生装置に用いると、所定位置に透磁率が小さくかつ電気抵抗の高い層を形成することによって、永久磁石構成体等の磁界発生源からの磁界によるソフトフェライト内の磁気的な飽和を防止するとともに、さらに、傾斜磁界コイルによる磁界が作用してもソフトフェライト内の一部あるいは全体に磁気的な飽和を招くことなく、該ソフトフェライトから磁性材ベースまたは積層けい素鋼板への磁束の漏洩が低減でき、結果として傾斜磁界コイルによる磁界を要因とする磁性材ベースまたは積層けい素鋼板の渦電流および残磁現象の発生を低減することが可能となり、高速撮像に必要なFSE法等の傾斜磁界をパルスシーケンスにて磁気回路の空隙内に安定的に発生、消去することが実現できる。

【0045】実施例に明らかなように、傾斜磁界コイル

によって発生する磁界波形も図8 (C) に示すように、残磁現象を要因とする磁界の乱れが殆ど発生せず、また渦電流の発生も大幅に低減されることから、対称性が良く、理想の矩形波 (図8 (A) 参照) とほぼ同様な形状となる。すなわち、鮮明な画像を高速撮像にて得ることが可能となるのである。

#### 【0046】

##### 【実施例】

##### 実施例1

図6と同様構成の磁界発生装置に、外径1300mm×内径190mm×高さ150mm寸法のBHmax 40MGOeを有するNd-Fe-B系永久磁石を用い、図1に示す構成の磁極片50、すなわち、外径1200mm×高さ40mm寸法の純鉄からなる磁性材ベース51の上に、外径1200mm×内径1000mm×高さ70mm寸法の低炭素鋼からなる環状突起52を周配置し、環状突起52内に外径1000mm×厚み1mmのベークライト製薄板57を介在させてブロック状ソフトフェライト53にて凸状突起55を有する円板状に組み立てて外径1000mm×高さ(中央部)25mm寸法のソフトフェライト層を積層した構成からなる磁極片50を着設した。なお、ソフトフェライトは、Mn-Zn系フェライト、 $H_c = 6.0 \text{ A/m}$ 、 $B_s = 0.54 \text{ T}$ 、 $\rho = 0.2 \Omega \cdot \text{m}$ である。純鉄は、 $H_c = 80 \text{ A/m}$ 、 $B_s = 2.0 \text{ T}$ 、 $\rho = 1 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ である。また、ベークライトは、透磁率=1、 $\rho = 1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{m}$ である。

【0047】上下一対の環状突起の対向面間距離を500mmに設定したところ、磁界強度が0.3T、空隙中心から半径200mmの計測空間内の磁界均一度が30ppmであった。この時の磁束密度を有限要素法によるシミュレーションによって計算した結果を図4に等磁束密度線図として示す。また、パルス幅が10msのGCパルスにより傾斜磁界(8mT/m)を発生させた際に生じる残留磁場、渦電流を測定し、測定結果を表1に示す。

##### 【0048】比較例1

実施例1の磁界発生装置において、磁極片にベークライト製薄板57を介在させない以外は全く同一構成となし、同様に磁気特性の測定を行った。空隙中心から半径200mm内の計測空間での測定値で、磁界均一度; 30ppm、磁界強度; 0.3Tを得た。この時の磁束密度を有限要素法によるシミュレーションによって計算した結果を図5に等磁束密度線図として示す。また、パルス幅が10msのGCパルスにより傾斜磁界(8mT/m)を発生させた際に生じる残留磁場、渦電流を測定し、測定結果を表1に示す。

【0049】図4、図5の等磁束密度線図において、等磁束密度線に示す数字は磁束密度kGであり、同一線上は同等の磁束密度であることを示している。図に明らかな

ように、傾斜磁界コイル(GC)が磁極片に対向する範囲において、比較例1の場合は磁束密度が5.0~5.4kGであり、磁気飽和に近い状態であるのに対して、実施例1の場合は4.0~4.2kGであり、GCパルスがかけられた際に磁気飽和することがないといえる。

#### 【0050】実施例2

実施例1の構成において、磁極片を図3に示す構成、すなわち、外径1200mm×高さ40mm寸法の純鉄からなる磁性材ベース61の上に、外径1200mm×内径1000mm×高さ70mm寸法の低炭素鋼からなる環状突起62を周配置し、環状突起62内に下記性状の無方向性けい素鋼板を用いたブロック状積層けい素鋼板66にて、外径1000mm×高さ(中央部)15mm寸法の円板状のけい素鋼板層を設け、さらに外径1000mm×厚み1mmのベークライト製薄板67を介在させてブロック状ソフトフェライト63にて凸状突起65を有する円板状に組み立てて外径1000mm×高さ(中央部)10mm寸法のソフトフェライト層を積層した構成からなる磁極片60を着設した。無方向性けい素鋼板は、 $H_c = 40 \text{ A/m}$ 、 $B_s = 1.7 \text{ T}$ 、 $\rho = 45 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ である。

【0051】上記構成からなる磁界発生装置において、同様に磁気特性の測定を行ったところ、空隙中心から半径200mm内の計測空間での測定値で、磁界均一度; 30ppm、磁界強度; 0.3Tを得た。さらに、パルス幅が10msのGCパルスにより傾斜磁界(8mT/m)を発生させた際に生じる残留磁場、渦電流を測定し、測定結果を表1に示す。残留磁場は、磁性材ベースに直接ソフトフェライト層を設けた比較例の場合は4mGであるのに対して、磁性材ベース上にベークライト製薄板を介在させてソフトフェライト層を積層した実施例1、けい素鋼板層とソフトフェライト層の間にベークライト製薄板を介在させた実施例2のいずれもが比較例の半分以下である。また、渦電流も比較例の場合を1として比率で示すが、実施例1、2のいずれもが大幅に減少していることが分かる。

#### 【0052】

【表1】

	残留磁場	渦電流
実施例1	1.5mG	1/4
実施例2	2.0mG	1/6
比較例1	4 mG	1

#### 【0053】

【発明の効果】この発明は、空隙を形成して対向する一対の磁極片を、磁性材ベース上にソフトフェライトまたは積層けい素鋼板とソフトフェライトを配置する積層構造とし、ソフトフェライトと磁性材ベースとの間、またはソフトフェライトと積層けい素鋼板との間に透磁率が



小さくかつ電気抵抗の高い合成樹脂層などを形成することによって、永久磁石構成体等の磁界発生源からの磁界によるソフトフェライト内の磁気的な飽和を防止するとともに、さらに、傾斜磁界コイルによる磁界が作用してもソフトフェライト内の一部あるいは全体に磁気的な飽和を招くことなく、該ソフトフェライトから磁性材ベースまたは積層けい素鋼板への磁束の漏洩が低減でき、結果として傾斜磁界コイルによる磁界を要因とする磁性材ベースまたは積層けい素鋼板の渦電流および残磁現象の発生を低減でき、高速撮像に必要なFSE法等の傾斜磁界をMRI用磁界発生装置の磁気回路の空隙内に安定的にパルスシーケンス制御できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】A、Bはこの発明による磁界発生装置の磁極片の一実施例を示す上面図と縦断面図である。

【図2】図1のBに示す磁極片の要部拡大縦断面図である。

【図3】この発明による磁極片の他の構成を示す要部縦断面図である。

【図4】この発明による磁界発生装置の磁極片の等磁束密度線図である。

【図5】比較例の磁界発生装置の磁極片の等磁束密度線図である。

【図6】A、Bは従来の磁界発生装置の縦断面図と横断面図である。

【図7】従来の磁界発生装置の斜視説明図である。

【図8】A、B、Cは傾斜磁界コイルによって発生する磁界波形を表す時間と磁界強度との関係を示すグラフである。

【図9】A、Bは従来の磁界発生装置の磁極片の一実施例を示す上面図と横断面図である。

\*

\* 【図10】ブロック状積層けい素鋼板の一実施例を示す斜視説明図である。

【図11】ブロック状積層けい素鋼板の他の実施例を示す斜視説明図である。

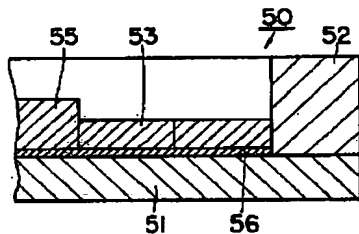
【図12】図6に示す磁界発生装置に用いる磁極片の構成を示す縦断面図である。

【図13】図7に示す磁界発生装置に用いる磁極片の構成を示す縦断面図である。

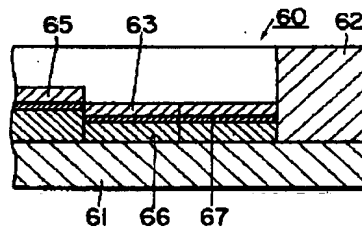
#### 【符号の説明】

- |    |                   |               |
|----|-------------------|---------------|
| 10 | 1, 11, 12         | 永久磁石構成体       |
|    | 2, 13, 20, 30, 40 | 磁極片           |
|    | 3                 | 継鉄            |
|    | 4, 14             | 空隙            |
|    | 5                 | 環状突起          |
|    | 10                | 筒状継鉄          |
|    | 15, 16, 42        | 突起            |
|    | 21, 31            | 磁性材ベース        |
|    | 22, 32            | リング部          |
|    | 23, 33, 43        | ブロック状ソフトフェライト |
| 20 | 24                | コア部           |
|    | 26, 36            | ブロック状積層けい素鋼板  |
|    | 26a, 26b          | 小ブロック         |
|    | 50, 60            | 磁極片           |
|    | 51, 61            | 磁性材ベース        |
|    | 52, 62            | 環状突起          |
|    | 53, 63            | ブロック状ソフトフェライト |
|    | 54                | コア一部          |
|    | 55, 65            | 凸状突起          |
|    | 57, 67            | 薄板            |
| 30 | 66                | ブロック状積層けい素鋼板  |

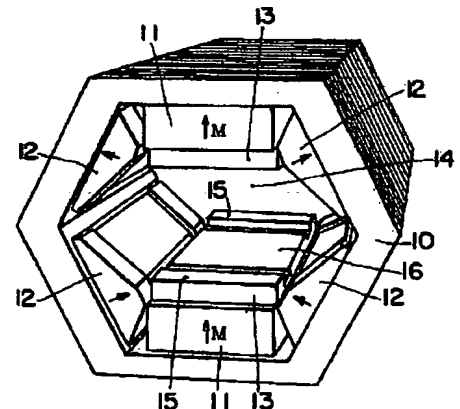
【図2】



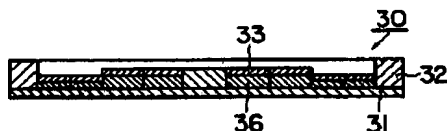
【図3】



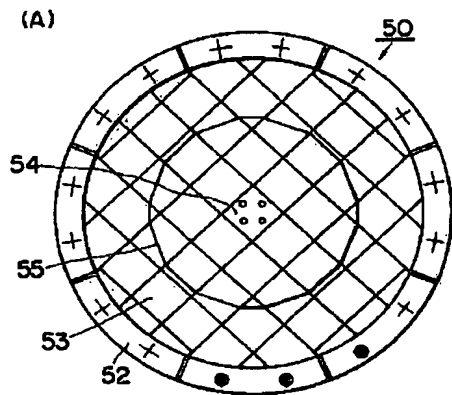
【図7】



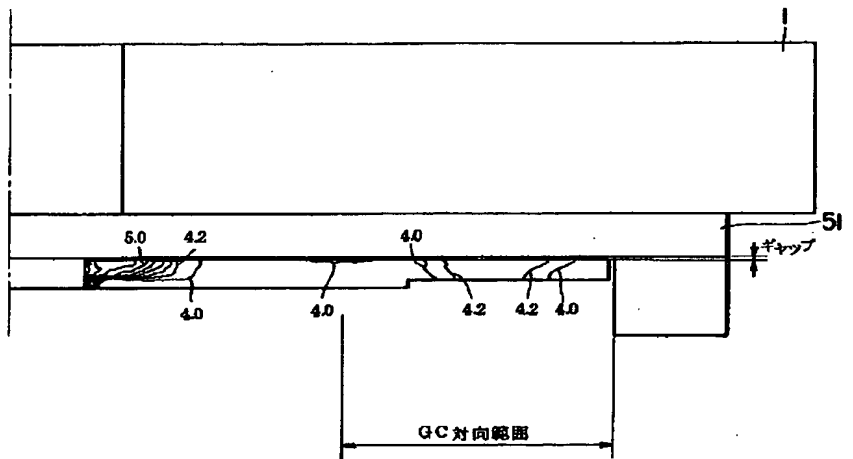
【図12】



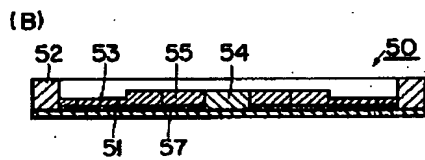
【図1】



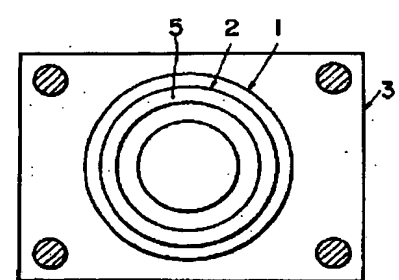
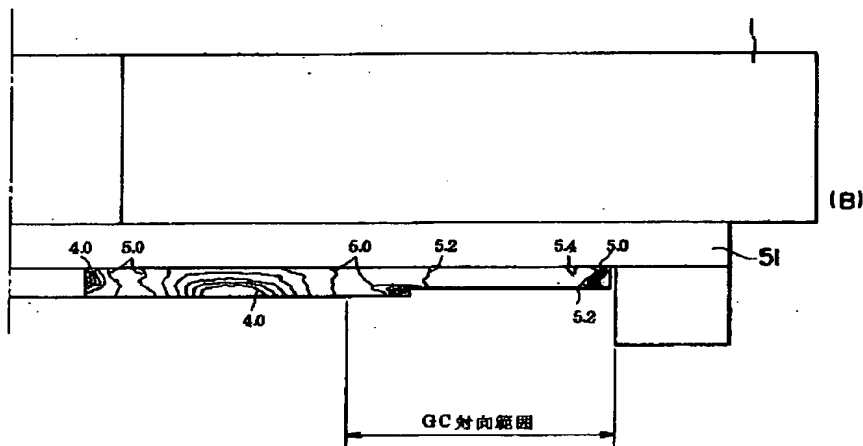
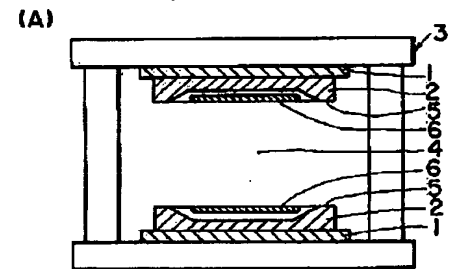
【図4】



【図6】



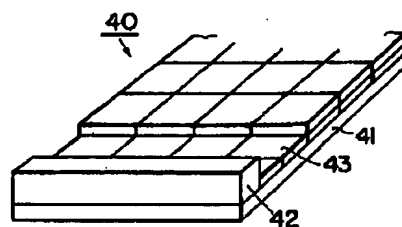
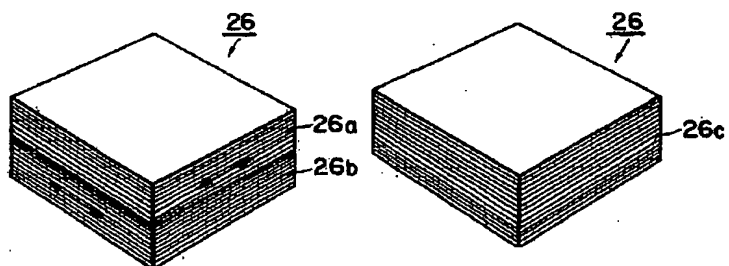
【図5】



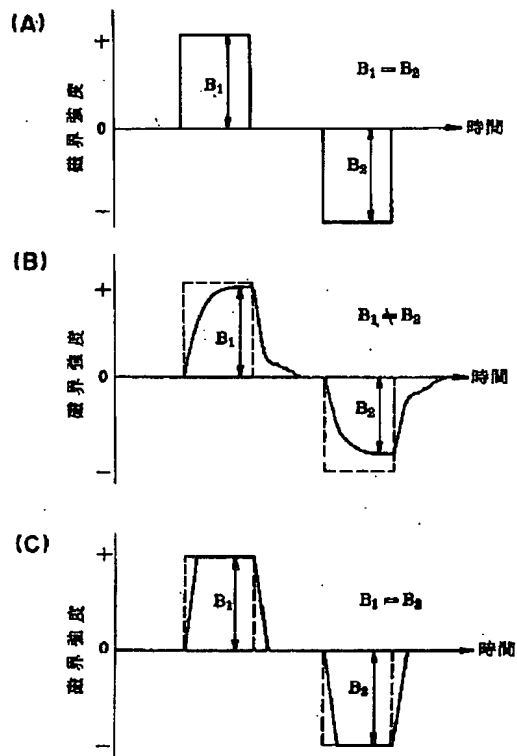
【図10】

【図11】

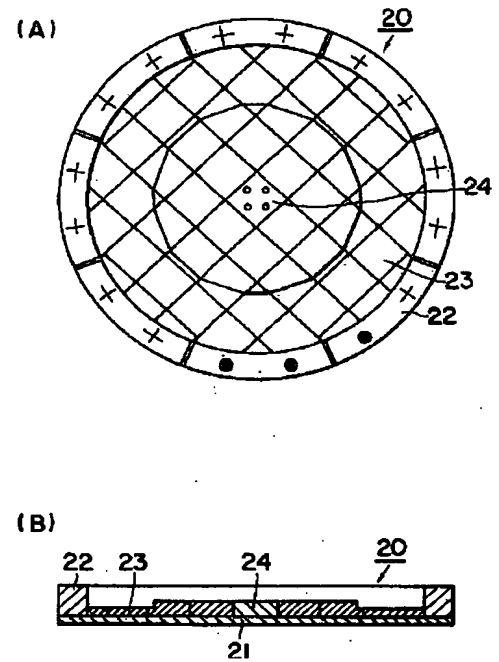
【図13】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者 桜井 秀也

大阪府三島郡島本町江川2丁目15-17 住  
友特殊金属株式会社山崎製作所内